

# MEASUREMENT AND MODELING OF REAL IMPEDANCE RESULTS IN DEPENDENCE ON THE POSITION THE SENSING ELECTRODES

**Jiří Haňka**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: [xhanka01@stud.feec.vutbr.cz](mailto:xhanka01@stud.feec.vutbr.cz)

Supervised by: Vítězslav Novák

E-mail: [novakv@feec.vutbr.cz](mailto:novakv@feec.vutbr.cz)

**Abstract:** Content of this work is aimed to solutions of issues created due experimental measurement impedance properties of dielectric materials by sensitive impedance spectroscopy analysis. To this purpose should be created mathematical model by suitable simulation software, which should be able to simulate impedance changes in dependence of electrodes position. The work deals with description of complex impedance system behavior and response to electrodes position changes.

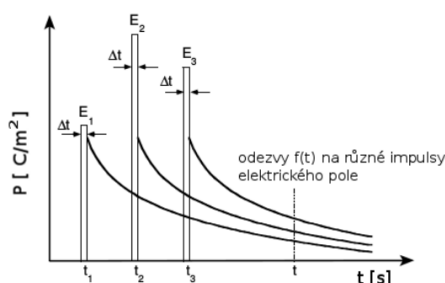
**Keywords:** Impedance spectroscopy, Ansys, Electroceramics

## 1 ÚVOD

Tato práce se zabývá možnostmi modelování skutečného impedančního měření dielektrických materiálů pro získání informací k popisu jejich vlastností. V praxi je k tomuto účelu využívána zejména metoda impedanční spektroskopie. Pro zefektivnění získávání informací o zkoumaném materiálu je v tomto příspěvku využito simulačního programu ANSYS, ve kterém lze simulovat odezvu systému na proměnné elektrické pole. Za pomoci tohoto softwaru je možné efektivně získat informace o vlivu tvaru a polohy elektrod na impedanční vlastnosti zkoumaného systému.

## 2 DIELEKTRICKÉ MATERIÁLY V ELEKTRICKÉM POLI

Dielektrikum je z pohledu zkoumání elektrické energie látka, která má po vložení do elektrického pole schopnost polarizace a tím vytvoření vlastního vnitřního elektrického pole. Dielektrika jsou proto hojně využívána pro uchování energie elektrického pole v separovaném systému pomocí polarizace vlastních částic látky. Tyto částice obsahují vázané náboje, které se po přiložení elektrického pole polarizují a vychylují ve směru jeho působení. Jsou především rozdílné svou silou vazby. Z toho plyne skutečnost, že po přiložení elektrického pole se náboje polarizují s rozdílnými časovými intervaly.



**Obrázek 1:** Příklady rozdílných funkcí odezvy v dielektrickém materiálu.

Mají tedy různé charakteristické funkce  $f(\tau)$  popisující tvar průběhu odezvy materiálu, které se v čase překrývají. Pokud uvažujeme pouze jediný polarizační mechanismus, lze charakterizovat jeho polarizaci  $P_{simple}(t)$  jako časově závislou odezvu následující rovnicí

$$P_{simple}(t) = \epsilon_0 E \Delta t f(t), \quad (1)$$

kde  $\epsilon_0 = 8,854187818 \cdot 10^{12} \text{ Fm}^{-1}$  představuje permitivitu vakua a  $\Delta t$  délku působení elektrického pole. V každém materiálu se ovšem vyskytuje velice mnoho těchto relaxačních dějů, jak je znázorněno na obr. 1. K popisu celkové polarizace  $P(t)$  je za předpokladu superpozice jednotlivých funkcí odezvy a počtu těchto funkcí jdoucího do nekonečna možné tyto děje integrovat v čase, k čemuž lze v současnosti využít i rychlosti počítače. K tomuto měření byly jako měřené dielektrický materiál použity vzorky keramiky, která je využívána v praxi pro plynové senzory, baterie a palivové články.

## 2.1 KERAMICKÉ MATERIÁLY

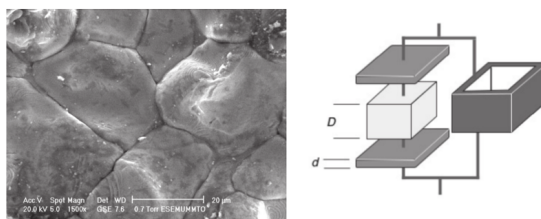
Keramiku využíváme v průmyslu k mnoha aplikacím, díky jejím jedinečným vlastnostem. V elektronice se uplatňuje zejména nízká elektrická vodivost. Zde se zabýváme druhem keramik, které jsou uměle dotovány oxidy kovů, čímž se naruší jejich krystalická struktura a keramika tak zvýší svoji vodivost. Společně s poruchami dochází i ke vzniku iontů s různými vazbami a potenciály. Tyto ionty se poté rekombinacemi pohybují materiálem a tvoří rychlou iontovou vodivost. Typickým příkladem zkoumaným i v této práci je  $\text{ZrO}_2$  dotovaný ionty yttria  $\text{Y}^{3+}$  nebo vápníku  $\text{Ca}^{2+}$ , čímž se tvoří vakance iontů oxidu  $\text{O}^{2-}$ , které se s narůstající teplotou stávají vysoce mobilními. K měření a popisu impedančních vlastností keramik lze využít například metodu impedanční spektroskopie.

## 3 IMPEDANČNÍ SPEKTROSKOPIE

Metoda impedanční spektroskopie nám umožňuje popsat elektrické vlastnosti složitějších materiálů prostřednictvím interpretace jejich komplexních impedančních složek. Měření je prováděno zavedením superponovaného střídavého napětí na měřící elektrodu a snímání proudové odezvy systému. V případě střídavého elektrického pole jsou tyto odporové vlastnosti interpretovány jako impedanční komplexní odezva na frekvenční spektrum vstupního signálu. Tento postup se opírá o empirický vztah Ohmova zákona, pomocí kterého se určí impedanční vlastnosti materiálu

$$Z^*(j\omega) = \frac{U(j\omega)}{I(j\omega)} = Z'(\omega) + jZ''(\omega). \quad (2)$$

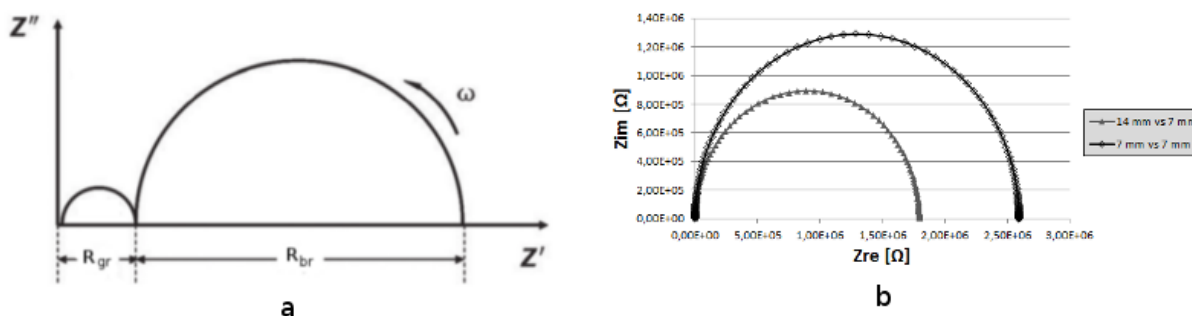
Zde  $Z^*(j\omega)$  je komplexní impedance systému,  $U(j\omega)$  vstupní složka napětí,  $I(j\omega)$  proudová odezva. Dále  $Z'(\omega)$  a  $Z''(\omega)$  představují složky výsledné komplexní impedance ze kterých se po proměření celého frekvenčního spektra vytvoří výsledný popis systému, ke kterému lze přiřadit alternativní náhradní obvod modelující vlastnosti vnitřní struktury materiálu jako je vyobrazeno níže



**Obrázek 2:** Náhled a náhradní model vnitřní struktury keramiky.

## 4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Cílem těchto simulací je porovnání grafického znázornění naměřené impedanční charakteristiky elektrokeramiky zobrazené například v Nyquistově diagramu s výsledky simulací navrženého matematického modelu. Pro samotnou simulaci byl v prvních testech využit simulační software ANSYS Maxwell, který na základě popisu vlastností keramického substrátu a vytvořené geometrie dokázal nasimulovat a proměřit impedanční hodnoty frekvenčního spektra od 0,01 Hz do 10 MHz. Simulace byla provedena ve dvou konfiguracích, kde jednou byly ve 2D struktuře vytvořeny a použity stejně velké kruhové elektrody o poloměru 7 mm. Ve druhém případě byla simulace proměřena pro rozdílnou velikost elektrod s poloměry 7 mm a 14 mm. Jako keramický substrát byla použita yttriem ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) stabilizovaná keramika zirkonia ( $\text{ZrO}_2$ ). Výsledky společně s teoretickými předpoklady můžete vidět níže



**Obrázek 3:** a) Teoretický průběh b) Simulovaný průběh impedanční charakteristiky.

Z výsledků je patrné, že při zvětšení plochy elektrody se sníží impedance systému. Pro správné měření je tedy důležité dodržet správné rozmístění elektrod, aby nedocházelo k chybám a byla umožněna reprodukovatelnost měření. Do výsledků nebyla zahrnuta impedance elektrodového systému, což je interpretováno pouze jedinou půlkružnicí. Touto cestou je možné nasimulovat i složitější konfigurace, kde bude možné zahrnout do výsledků i přechody vnitřní struktury keramických zrn, impedanci přechodu elektrod nebo další parazitní vlastnosti měřicího systému. Z odsimulovaných průběhů lze později vycházet pro následné měření k porovnání s reálnými hodnotami. Simulaci lze tedy využít jako další zefektivnění při měření vlastností keramických i dalších dielektrických materiálů. Hlavní výhodou těchto simulací je rychlost dosažení výsledků nebo možnost využití metody jako alternativní cestu pro určování vlastností složitějších materiálů.

## REFERENCE

- [1] HELGESON, A.: Analysis of dielectric response measurement methods and dielectric properties of resin-rich insulation during processing., Institutionen för elkraftteknik, 2000. 210 s. ISSN 1100-1593.
- [2] BONANOS, N., POLYCARPOS, P., MACDONALD, J., R.: Impedance Spectroscopy of Dielectrics and Electronic Conductors. Characterization of Materials. Hoboken, NJ, USA: John Wiley, 2002-10-15, roč. 2012. 25 JUN. DOI: 10.1002/0471266965.com121.
- [3] MASON, THOMAS O.: Ceramic composition and properties. Encyclopedia Britannica Online, 2014. XII, č. 08.
- [4] TATARKOVIČ, M., BRONCOVÁ, G., KRONĎÁK, M.: Elektroimpedanční spektroskopie a její využití v chemické analýze. Chemické listy. 2011, č.106, s. 1067-1074, 2.12.2011.